

高压直流电法 2 种双人工合成衬层模拟填埋场渗漏检测的比较

杨萍¹, 能昌信², 董路³, 王琪³, 王彦文¹

(1. 中国矿业大学(北京校区)机电学院, 北京 100083; 2. 山东工商学院计算机系, 烟台 264005; 3. 中国环境科学研究院固体废物所, 北京 100012)

摘要: 利用高压直流电法对双人工合成衬层间加粘土层和土工导水网 2 种模拟填埋场渗漏定位进行试验研究. 结果表明: 对上层膜检测时, 第 2 种模拟填埋场的总回路电阻比第 1 种的约大 15%; 对下层膜检测时, 第 2 种模拟填埋场的总回路电阻比第 1 种的约大 20%. 利用高压直流电法, 2 种模拟填埋场都可以较好地进行漏洞定位, 在电极间距为 1m 时, 漏洞定位误差不超过 10cm.

关键词: 填埋场; 漏洞定位; 粘土层; 土工导水网

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)01-0181-03

Comparison of Two Types of Double-lined Simulated Landfill Leakage Detection Based on High Voltage DC Method

YANG Ping¹, NAI Chang-xin², DONG Lu³, WANG Qi³, WANG Yan-wen¹

(1. School of Mechatronic Engineering, China University Mining & Technology (Beijing Campus), Beijing 100083, China; 2. Computer Department, Industrial and Commercial Institute of Shandong, Yantai 264005, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Two types of double high density polyethylene (HDPE) liners landfill that clay or geogrid was added between the two HDPE liners. The general resistance of the second mode is 15% larger than the general resistance of the first mode in the primary HDPE liner detection, and 20% larger than that of the first one in the secondary HDPE liner detection. High voltage DC method can accomplish the leakage detection and location of these two types of landfill and the error of leakage location is less than 10cm when electrode space is 1m.

Key words: landfill; leak location; clay; geogrid

《危险废物填埋污染控制标准》中规定^[1], 如果天然基础层饱和渗透系数不小于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$, 则必须采用双人工衬层, 双人工衬层必须满足以下条件: ①天然材料衬层经机械压实后渗透系数不大于 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, 厚度不小于 0.5m. ②上人工合成衬层可以采用 HDPE 材料, 厚度不小于 2mm. ③下人工合成衬层可以采用 HDPE 材料, 厚度不小于 1mm. 我国目前危险废物填埋场的设计普遍采用这种方式. 高压直流电法自 1985 年在美国第一次成功应用以来, 逐渐成为 HDPE 膜渗漏检测最主要的方法^[2]. 然而, 该方法主要应用于填埋场的施工验收, 对于运营中填埋场的渗漏检测方法仍然需要进一步研究. 本文在单衬层 HDPE 膜渗漏检测的基础上^[3,4], 对 2 衬层间加粘土层和土工导水网 2 种双衬层 HDPE 膜填埋场的渗漏定位进行了研究.

1 材料与方法

1.1 试验场所

第 1 种试验池(池 1)为 $10\text{m} \times 10\text{m} \times 0.8\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 深)的双 HDPE 膜衬层的模拟填埋场, 池子底层为均匀平坦的砂土层, 底层 HDPE 膜厚 1.5mm, 中间层为 20cm 厚的粘土层, 粘土层的上表面下 5cm 处铺设检测电极, 铺设方式为间距 1m 的蜂窝状(图 1), 共 126 个镀锌钛片电极($20\text{mm} \times 80\text{mm} \times 1\text{mm}$)用于检测漏洞电流产生的感应电势; 由于底层 HDPE 膜铺设范围较大, 并且中间粘土层范围也较大, 因此选取距离检测区 10m 的地方放置一个供电电极(规格同上), 用于形成电流回路; 在与供电电极关于检测区对称的地方放置一个参比电极(规格同上)用来提供一个参考 0 电位; 上层 HDPE 膜厚 1.5mm, 膜上为 15cm 深的水, 用来模拟垃圾及其渗滤液; 水中放置一个供电电极(规格同上), 位置

收稿日期: 2005-02-20; 修订日期: 2005-04-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2001AA644010)

作者简介: 杨萍(1974~), 女, 博士研究生, 主要从事计算机控制及环境检测的研究.

任意,用于上层 HDPE 膜的渗漏检测.在距离试验池 20m 处的土壤中埋设一个供电电极(规格同上)用于底层 HDPE 膜的渗漏检测.试验模型如图 2.

第 2 种试验池(池 2)的 2 层 HDPE 膜中间为土工导水网,它由 2 层 1mm 厚的土工布中间夹 5mm 厚的 HDPE 导水网组成,检测电极铺设在下层土工布的上方,其余和池 1 完全相同.

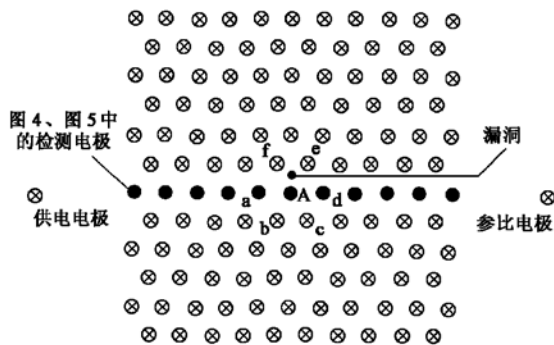


图 1 检测电极的铺设方式

Fig. 1 Laid mode of detecting electrodes

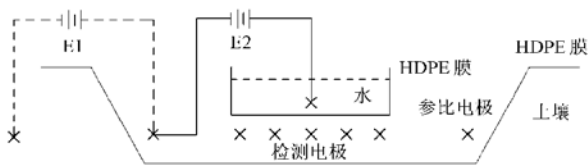


图 2 试验模型

Fig. 2 Experimentation model

1.2 实验设备

FLUCK-187 数字万用表 2 块; 0~1 000V 可调直流电压源 1 台; LSD-II 垃圾填埋场渗漏检测仪(中国环境科学研究院)1 套, R32 型 IBM 便携式电脑 1 台, 1.5mm²多芯铜导线若干.

1.3 实验方法

一块 FLUCK 数字万用表用来测量回路的电压, 另一块 FLUCK 数字万用表用来测量回路电流; 检测电极通过 1.5mm²多芯铜导线分别连接到渗漏检测仪的输入端, 参比电极连接到渗漏检测仪的输入“地”上; 在下层膜检测时, 将 0~1 000V 可调直流电压源接在 E1 位置, 打开电源, 若下层 HDPE 膜完好, 由于 HDPE 膜的高阻特性, 回路电流很小(近似为 0), 各检测电极检测到的感应电势很小且无较大起伏; 若下层 HDPE 膜上有漏洞, 电流将由中间层供电电极通过下层 HDPE 膜上漏洞回到土壤层供电电极(调节供电电压大小, 可以改变回路中的电

流). 此时, 漏洞电流将在距离漏洞不同的地方感应出不同的电势值, 通过检测仪测量各检测电极所在位置的感应电势, 将检测到的感应电势值通过 USB 口传给便携式电脑保存, 以便用来分析下层 HDPE 膜的漏洞情况. 在上层膜检测时, 将 0~1 000V 可调直流电压源接在 E2 位置, 同样, 打开电源, 当上层 HDPE 膜上有漏洞时, 电流将由上层 HDPE 膜上水中的供电电极通过上层 HDPE 膜上漏洞回到中间层供电电极, 调节供电电压大小, 可以改变回路中的电流. 若上层膜完好, 回路电流很小(近似为 0). 用同样的方法采集并保存检测到的电压数据, 用来分析上层 HDPE 膜的漏洞情况.

2 结果与讨论

2.1 上层膜的检测

供电电压为 170V, 漏洞在上层 HDPE 膜的正中间, 为直径 4mm 的圆形漏洞, 下层 HDPE 完好无损. 此时, 池 1 的回路电流为 28mA, 池 2 的回路电流为 23mA.

在相同的介质条件下, 感应电势的大小与供电电流成正比. 因此, 获取足够的电流是直流电法的关键因素. 决定电流大小的因素主要有供电电压和电流回路中的电阻. 回路中的电阻主要由以下几个部分组成: ①膜上供电电极和膜上介质的接触电阻 R₁; ②膜上供电电极到漏洞之间的介质电阻 R₂; ③漏洞电阻 R₃; ④漏洞到膜下供电电极之间的介质电阻 R₄; ⑤膜下供电电极和介质的接触电阻 R₅. 各部分电阻的联接方式见图 3. 由于中间层介质的改变, 模型中 R₄、R₅ 将发生变化. 试验证明, 池 2 的总回路电阻比池 1 的约大 15%. 因为, 在相同电压下池 1 的电流比池 2 的电流约大 15%.

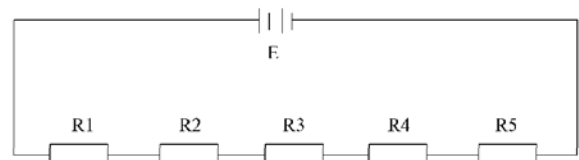


图 3 填埋场渗漏检测等效电路模型

Fig. 3 Equivalent circuit model of landfill leakage detection

图 4 为图 1 中浅色检测电极所在位置的感应电势值(电极排序从左到右). 可以看出, 靠近漏洞的地方感应电势最大. 池 2 的感应电势最大值比池 1 的大, 但池 2 的电势衰减要快, 主要是由于池 2 检测层介质的电阻率较大. 漏洞两侧的电势不对称, 这主要

是由于位于检测层的供电电极的影响. 在空间允许的情况下, 增大该供电电极到检测区的距离可减小此影响.

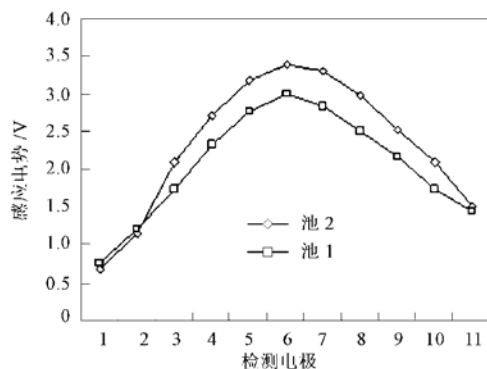


图 4 上层膜检测时, 漏洞两侧电势的分布

Fig. 4 Distributing of electrical potential beside leakage at primary HDPE liner detected

2.2 下层膜的检测

供电电压为 170V, 漏洞在下层 HDPE 膜的正中间, 为直径 4mm 的圆形漏洞, 上层 HDPE 膜上有一个相同的漏洞. 此时, 池 1 的回路电流为 35mA, 池 2 的回路电流为 28mA. 说明池 2 的电阻比池 1 的电阻约大 20%. 与上层膜检测相比, 电流有所增大, 这主要是由于回路中各部分电阻发生变化造成的.

图 5 为图 1 中浅色检测电极所在位置的感应电势值(电极排序同上). 可以看出, 距 离漏洞最近的地方电势最大, 池 2 的感应电势最大值比池 1 的大, 但池 2 的电势衰减要快, 漏洞两侧的电势不对称, 这主要是供电电极的影响造成的.

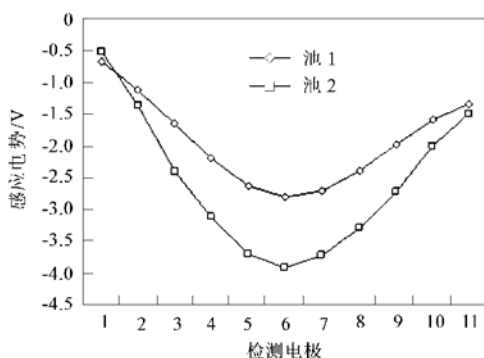


图 5 下层膜检测时, 漏洞两侧电势的分布

Fig. 5 Distributing of electrical potential beside leakage at secondary HDPE liner detected

通过图 4 以及图 5 的比较可见, 由于池 1、池 2

两衬层间所加介质不同, 在相同电压下, 漏洞电流的大小不同, 在相同位置, 感应电势的大小也不同; 但无论对于上层膜检测还是下层膜检测, 都是距离漏洞越近感应电势越大, 随着距离的增加, 感应电势逐渐减小.

2.3 定位误差

利用 LSD-II 垃圾填埋场渗漏检测仪将所有检测点的数据采集上来, 首先计算任意一个检测电极与其周围环绕的检测电极之间的电势差之绝对值的和 M_i , 根据点电流源电势分布规律, M_i 值最大点为距离漏洞最近的点. 假定 A 点为 M_i 值最大点, 在其周围 a b c d e f (图 1) 6 个点围成的六边形内按某一规律选取尽可能多的有限个点, 对每个点按照 $\phi = K/R^{1.5}$ 来计算 K 值(其中 R 为该点到周围检测点的距离), 由 7 个检测电压值可以得到 7 个 K 值, 将这 7 个 K 值求其差方和 $\sum_{i=1}^6 (K_i - K_{i+1})^2$, 差方和最小点为计算漏洞点. 通过以上计算, 2 种模拟填埋场的漏洞定位误差都不超过 10cm.

3 结论

(1) 上层膜检测时, 池 2 的电阻比池 1 的电阻约大 15%. 因此, 在相同电压下池 1 的电流比池 2 的电流大约 15%.

(2) 下层膜检测时, 池 2 的电阻比池 1 的电阻约大 20%. 因此, 在相同电压下池 1 的电流比池 2 的电流大约 20%.

(3) 利用高压直流电法, 2 种池子都可以较好地 进行漏洞定位, 在电极间距为 1m 时, 漏洞定位误差 不超过 10cm.

(4) 在粘土资源比较匮乏的地方, 用土工导水网 代替粘土层不影响利用高压直流电法进行渗漏 检测.

参考文献:

- [1] GB18597-2001. 危险废物贮存污染控制标准[S].
- [2] Darilek G T, Laine D L. Costs and benefits of geomembrane liner installation CQA [A]. Geosynthetics 2001 Conference Proceedings[C]. Portland, Oregon: 2001, 65~ 75.
- [3] 能昌信, 董路, 王琪, 等. 填埋场地电模型的电学特性[J]. 中国环境科学, 2004, 24 (6): 758~ 760.
- [4] 能昌信, 王彦文, 王琪, 等. 填埋场渗漏检测高压直流法等电路模型的建立[J]. 环境科学, 2005, 26 (1): 200~ 203.
- [5] 傅良奎. 电法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社, 1983.